

## Determinação de microestruturas periódicas utilizando otimização topológica e homogeneização

**Maisa D. Franco** \*

**Eduardo Lenz Cardoso**

Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, PPGEM, UDESC,  
89.219-710, Joinville, SC

E-mail: maisa.damazio.franco@gmail.com, eduardo.cardoso@udesc.br,

### RESUMO

O osso trabecular, ou osso esponjoso, é responsável por cerca de 20% do esqueleto humano. Este tipo de osso é formado por lâminas ósseas (trabéculas) dispostas de tal maneira que deixam espaços livres entre si (porosidades). Esta estrutura óssea porosa é responsável pela rigidez e elasticidade do esqueleto [6]. O osso esponjoso é frequentemente afetado pela osteoporose, o que deixa os ossos menos densos e mais suscetíveis a fraturas. Devido a essa fragilidade e a outros problemas como artrose e fraturas, cada vez mais tem se recorrido às cirurgias de implante de prótese de quadril.

Estas próteses podem ser produzidas com vários tipos de materiais, como por exemplo o titânio, que é biocompatível, ou seja, não sofre rejeição do corpo humano. Para que a integração da prótese com o meio ósseo seja efetiva, têm-se que garantir que as propriedades mecânicas do osso e da prótese sejam o mais próximas possíveis [4] [5].

Inicialmente, as ligas de titânio tem propriedades diferentes do meio ósseo. Uma forma de obter uma prótese de titânio com propriedades mecânicas específicas é modificar a distribuição de titânio (material base) em um nível microscópico, com o objetivo de modificar a porosidade e arranjo microestrutural. Embora este procedimento possa ser feito por tentativa e erro, verifica-se que não é viável do ponto de vista econômico. Por isto, este trabalho aborda o projeto da microestrutura de titânio utilizando duas ferramentas bem estabelecidas na literatura: a otimização topológica de meios contínuos e o método da homogeneização por expansão assintótica.

A homogeneização por expansão assintótica consiste na substituição de um meio heterogêneo por um meio homogêneo equivalente, que com base em dados relativos à distribuição microscópica de material, permite a obtenção de leis de comportamento macroscópico. Portanto, é um método que substitui as equações diferenciais com coeficientes de oscilação rápidos por equações diferenciais cujos coeficientes são constantes ou variáveis lentas [2] [3]. Desta forma, aplica-se o método da homogeneização para construir uma solução assintótica formal de um Problema de Valor de Contorno de elasticidade infinitesimal linear e anisotrópica com coeficientes periódicos e de rápida oscilação, modelando assim o comportamento do material poroso da prótese de titânio.

A otimização topológica, por sua vez, estuda qual é a melhor distribuição de material que leva a extremização de um funcional. Neste caso, o funcional é associado a norma L2 da diferença do tensor de propriedades elásticas do meio ósseo e do obtido via homogeneização [1].

Como resultado, são obtidas microestruturas para diferentes níveis de porosidade, de modo a obter o melhor acoplamento de propriedades entre um meio ósseo pré-determinado e o material de base.

**Palavras-chave:** *Homogeneização, Microestruturas periódicas, Otimização topológica, Meio ósseo, Próteses de titânio*

---

\*Bolsista FAPESC

## Referências

- [1] M.P. Bendsoe, O. Sigmund, "Topology optimization: theory, methods and applications", Springer, 2003.
- [2] B. Hassani e E. Hinton, A review of homogenization and topology optimization I - homogenization theory for media with periodic structure, *Computer and Structures.*, 69 (1998) 107-117.
- [3] B. Hassani e E. Hinton, A review of homogenization and topology optimization II - homogenization theory for media with periodic structure, *Computer and Structures.*, 69 (1998) 119-138.
- [4] S.J. Hollister, D.P. Fyhrie, K.J. Jepsen, S.A. Goldstein, Application of homogenization theory to the study of trabecular bone mechanics, *Journal of Biomechanics.*, 24 (1991) 825-839
- [5] C. Y. Lin, N. Kikuchi, S. J. Hollister, A novel method for biomaterial scaffold internal architecture design to match bone elastic properties with desired porosity, *Journal of Biomechanics.*, 37 (2004) 623-636
- [6] M. Rumpf, L. O. Schwen, H. J. Wilke, U. Wolfram, Numerical homogenization of trabecular bone specimens using composite finite elements, em "1st Conference on Multiphysics Simulation Advanced Methods for Industrial Engineering", 2010.